

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

长坑矿田金、银矿床地球化学特征 及形成差异分析

梁华英 夏萍 王秀璋 张胡 程景平 单强

(中国科学院广州地球化学研究所, 510640)

内容提要 长坑矿田金、银矿体主要产于下石炭统与上三叠统不整合面之下的硅质岩中, 金、银矿体分离。金矿体主要为浸染状, 富集 As、Sb、Hg; 银矿体主要为脉状, 富集 Cu、Pb、Zn。金矿体铅同位素组成与寒武纪—石炭纪地层及硅质岩的相同, 银矿体铅同位素组成与金矿体的不同。金、银矿体的氢、氧、碳同位素组成也明显不同。银矿体 Rb-Sr 等时线年龄为 70.4 Ma。据上述特征, 笔者认为长坑金、银矿床是不同成矿作用形成的, 金矿主要是热水沉积形成, 银矿主要是燕山期晚期改造形成。

关键词 金矿床 银矿床 长坑矿田 广东

1 矿区地质概况

广东长坑矿田包括大型长坑金矿床及可望达超大型的富湾银矿床, 是中国近年来发现的新类型矿床。矿田位于 NNE 向恩平—从化断裂带与 EW 向高要—惠来构造带交汇部位^[1~3], 它的一些特征与卡林型金矿相似, 但又与典型的卡林型金矿不同, 如其硅质岩厚度大, 金和银都富集等。金银矿床虽产在同一区, 但两矿体在空间上呈分离产出, 在平面上长坑金矿床主要产于矿田的北部, 而富湾银矿床主要产于矿田的南部; 在剖面上长坑金矿床主要产于上部而银矿则产于下部(图 1)。

金矿化以浸染状为主, 产于下石炭统与上三叠统不整合面下的硅质岩中, 硅质岩层位稳定, 与下石炭统平行。矿体呈似层状、大透镜体状, 与地层整合产出。矿石主要为角砾状硅质岩矿石, 其次为硅质岩矿石及砂砾岩矿石。金矿物主要为自然金,

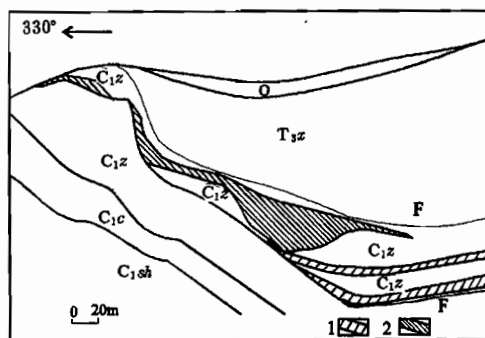


图 1 长坑矿区 4 线地质剖面图^[1]

Fig. 1 Section of fourth exploration line of Changkeng ore field^[1]

Q—第四系; T_{3x}—晚三叠世小坪组; C_{1z}—早石炭世梓门桥组下段; C_{1c}—早石炭世测水组; C_{1sh}—早石炭世石礐子组; F—断裂; 1—银矿体; 2—金矿体

Q—Quaternary; T_{3x}—Late Triassic Xiaoping Formation; C_{1z}—Early Carboniferous Zimenqiao Formation; C_{1c}—Early Carboniferous Ceshui Formation; C_{1sh}—Early Carboniferous Shidengzi Formation; F—fault; 1—silver orebody; 2—gold orebody

注: 本文为中国科学院黄金重大项目及广东省基金支持项目。

本文 1997 年 4 月收到, 7 月改回, 章雨旭编辑。

共生矿物为黄铁矿、雄黄和辉锑矿、石英及少量萤石、闪锌矿、伊利石等。金主要以显微金形式产于石英、伊利石和黄铁矿等矿物的表面或裂隙中^[1~3]。

富湾银矿床为隐伏矿体,矿体呈似层状,大透镜状及脉状,赋存于下石炭统和上三叠统不整合面下的硅质岩及石炭系梓门桥组灰岩中。银矿体主要为石英-方解石-闪锌矿-方铅矿-银矿物脉,充填于碳酸盐岩及硅质岩裂隙中。含银矿物主要有深红银矿、辉银黝铅矿、硫锑铅银矿及辉银矿等^[1]。

2 金、银矿化微量元素组成特征

长坑金矿体及富湾银矿体的稀土元素及微量元素组成特征不同(表1),金矿体稀土元素含量相对较高,而银矿体稀土元素则较低;金矿体中富集 Hg、As、Sb 等,Ag 也微弱富集,但富集程度很底;银矿体富集 Cd、Cu、Pb、Zn, Au 也微弱富集,但未达到伴生矿品位要求。

表1 长坑金、银矿体稀土及微量元素组成特征差异表($\times 10^{-6}$)

Table 1 The trace element content ($\times 10^{-6}$) of gold and silver orebodies

矿体	$\Sigma\text{REE}^{[1]}$	Cd	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg	As	Sb
银矿体	1.94~5.51	601.14	0.18		1102.6	42500	51400	1.29	365	1632
金矿体	13.4~91.86	0.39		15.69	94.12	101.21	158.41	58.02	1935	1741.6

注:12个样品平均值,Au、Ag、Hg、As 为中国科学院地球化学研究所分析,其余为南京大学分析。

3 金、银矿床同位素组成特征

3.1 金、银矿化铅同位素组成差异

铅同位素组成特征是揭示成矿物质来源的重要手段之一,为了分析金、银矿床的相互关系,笔者分别测试了长坑金矿床、富湾银矿床、下伏寒武纪至石炭纪地层及赋金热水沉积硅质岩的铅同位素组成(表2)。

表2 长坑金、银矿体铅同位素组成

Table 2 Pb and S isotope compositions of Changkeng gold and silver orebody

样品号	测定对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	产状
CK-16	黄铁矿	19.885	15.824	39.184	金矿体
CK-32	黄铁矿	19.092	15.797	39.075	
CK-38	黄铁矿	18.832	15.728	39.002	
CK-33	辉锑矿	18.580	15.672	38.700	
ck-94	方铅矿	18.820	15.848	39.579	
ck-95	方铅矿	18.891	15.914	39.786	闪锌矿-方铅矿 -方解石矿脉中 的方铅矿
ck-156	方铅矿	18.845	15.902	39.690	
ck-157	方铅矿	18.851	15.873	39.658	
ck-160	方铅矿	18.834	15.848	39.657	
全岩		18.716~19.224	15.702~15.770	38.925~39.345	硅质岩(4个样)
		18.806~19.170	15.737~15.775	39.256~39.834	板岩及砂岩(O, 4个样)
		18.727~18.775	15.763~15.707	39.069~39.264	泥岩及砂岩(D, 2个样)
		19.433~20.005	15.752~15.919	39.920~40.893	板岩及砂岩(C, 2个样)

注:硫化物铅同位素在广州地球化学研究所分析,全岩铅同位素在宜昌地质矿产研究所分析。

长坑金矿床与下伏寒武纪至石炭纪地层及硅质岩的铅同位素组成特征相同,都是 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化较大,而 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化相对较小,在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上(图2),金矿床和下伏寒武纪至石炭纪地层及赋矿硅质岩位于同一区域,都在上地壳演化线之上,显示其铅

为同一起来源,都属于壳源铅^[4],金矿床成矿物质主要来自寒武系至石炭系。

3.2 金、银矿化成矿流体氢、氧、碳同位素特征差异

长坑金、银矿床成矿流体特征有明显的差异,金矿床成矿流体氢氧同位素组成变化都比较大, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 -7.8‰ ~ -3‰ 之间, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 -80‰ ~ -30‰ 之间(表3)。在氢氧同位素组成关系图上,金矿床成矿流体位于大气降水线附近,由早至晚构成了一条与大气降水线小角度斜交的直线(图3)。早期金矿成矿流体的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值达 -80‰ ,而在该地区中生代大气降水的值约在 -50‰ ^[5],由于岩石中氢的含量较低,在合理的水—岩比值范围内,水—岩反应对成矿流体的氢同位素组成影响不大,中生代大气降水通过水—岩反应难以使成矿流体达到如此低的 δD 值。因此,金矿床成矿流体的氢同位素组成可能主要是由于两个原因

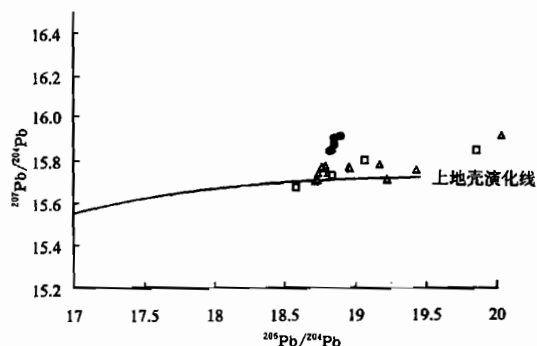


图2 长坑金、银矿床铅同位素组成图

Fig. 2 Lead isotope diagram of Changkeng gold and silver deposit

●—银矿体; □—金矿体; △—硅质岩及寒武系—石炭系
●—Silver orebody; □—gold orebody;
△—siliceous rock and Cambrian—Carboniferous

造成的。①成矿流体主要来自中生代以前的地层水或大气降水。②因大量有机质参与成矿而使成矿流体的氢同位素组成发生了变化。

富湾脉状银矿化成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 -0.86‰ ~ 4.1‰ 之间, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 -59‰ ~ -44.5‰ 之间。银矿床的成矿流体以氢同位素组成相对稳定,氧同位素组成变化较大为特征。在氢氧同位素组成图上位于岩浆水与大气降水之间区域。对这种成矿流体的成因,目前有两种解释。①

表3 金、银矿床成矿流体氢氧同位素组成

Table 3 Hydrogen and oxygen isotope of gold and silver deposit

样号	产状	矿物	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰) (实测)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰) (计算)	文献
CK-33	金矿	辉锑矿	-30	-3.6	-0.86	本 、 文
CK-39	金矿	辉锑矿	-31	-3.0		
CK-39	银矿	石英	-46			
C-T12	金矿	黄铁矿	-80	-7.8	1.0	[6]
C-T21	金矿	黄铁矿	-59	-4.9		
C-T	银矿	石英	-44.5			
C-T13	银矿	石英	-49		-0.4	[2]
C-T13	银矿	闪锌矿	-59	4.1		
CH-11Q	银矿	石英	-48.1		0.3	①

注:广州地球化学研究所分析。

①张生,广东长坑超大型金银矿床地球化学与成矿机制,博士论文,1996。

大气降水或沉积和成岩期间封存的同生水通过水—岩作用发生氧同位素交换,使成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值增大。②岩浆水和大气降水或建造水的混合。由于本区岩浆活动微弱,基本可排除第二种解释,因而银矿的成矿流体主要为中生代循环大气降水或建造水。

长坑金、银矿床成矿流体碳同位素组成也有明显的差异,金矿成矿流体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 在 -16‰ 左右,表明金矿成矿过程中有机碳起了重要作用^[2]。银矿体方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 在 -3.25‰ ~ 0.25‰ 之间^[2,6],①,计算银矿成矿流体总碳同位素组成为 -5‰ ~ -1‰ 。这表明银矿床中碳主要来源于沉积碳

酸盐^①。

金、银矿床成矿流体氢、氧、碳同位素组成的明显差异表明金、银矿床成矿流体形成机制不同。

4 金、银矿床形成时代分析

为了确定金、银矿床形成时代,笔者分别测定了富金硅质岩及银矿脉 Rb、Sr 同位素组成(表4)。金矿体 Rb、Sr 同位素未构成线性关系。显示成矿后,未保持封闭体系。野外在矿体顶部与晚三叠纪碳质泥岩接触界面附近发现核心为含雄黄的泥岩结核,据金矿体中雄黄较发育,可推断金矿床主要是在晚三叠世前形成的。地质及地球化学特征表明,赋金硅质岩主要是早石炭世晚期热水沉积形成的^[7]。野外及显微镜

下观察发现,长坑金矿床矿化主要以浸染状产于角砾状硅质岩中,与硅质岩的产状一致,表明硅质岩和金矿是同一作用的产物,据此认为金矿化主要发生在早石炭世晚期。

表4 金、银矿体 Rb、Sr 同位素组成

Table 4 Rubidium and strontium isotope of gold and silver ore body

矿体	样品	样号	Rb ($\times 10^{-6}$)	Sr ($\times 10^{-6}$)	$\frac{87\text{Rb}}{86\text{Sr}}$	$\frac{87\text{Rb}}{86\text{Sr}}$
金矿体	硅质岩	CK-194	69.573	33.954	5.9201	0.73518 $\pm$ 0.00006
		CK-236	15.366	6.4004	6.9372	0.73130 $\pm$ 0.00003
		CK-238	13.879	5.4352	7.3799	0.73174 $\pm$ 0.00004
		CK-273	23.543	11.901	5.7130	0.72528 $\pm$ 0.00001
		CK-296	38.392	12.940	8.5726	0.73058 $\pm$ 0.00002
银矿体	石英	CK-250	0.2819	0.801	10.166	0.72662 $\pm$ 0.00002
		CK-252	0.5444	0.9918	1.5841	0.71765 $\pm$ 0.00002
		CK-262	0.6859	0.8421	2.3510	0.71879 $\pm$ 0.00001
		CK-266	2.5124	3.7358	1.9409	0.71847 $\pm$ 0.00001
		CK-288	0.5156	1.4183	1.0451	0.71744 $\pm$ 0.00001

注:宜昌地质矿产研究所分析。

是同一成矿作用早、晚阶段的产物,都是燕山期形成的^{[1~3, 6]②}。但这很难解释金、银矿床在空间上的分离及在矿化特征、微量元素、稀土元素、成矿流体及铅、硫同位素等方面的迥然不同。而野外及同位素年龄资料也表明金、银矿床成矿时代不同。

实验地球化学资料表明,金、银的溶解、迁移地球化学环境有一定的差异,在中低温条件下,金主要在弱碱性溶液中以硫络合物形式迁移,银主要在弱酸性溶液中以氯络合物迁移^[8~10]。在世界上除火山岩型矿床外很少发现金、银都富集的矿床。

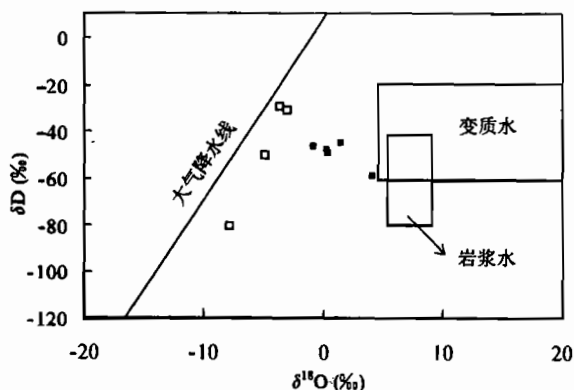


图3 长坑金、银矿床成矿流体氢氧同位素组成

Fig. 3 Hydrogen and oxygen isotope diagram of Changkeng gold and silver deposit

□—金矿床; ■—银矿床
□—Gold orebody; ■—silver orebody

银矿化石英包裹体 Rb、Sr 同位素构成具一条相关系数为 1.0, $y = 0.01x + 0.7164$ 直线。初始值 0.7164, 具壳源性质。等时线年龄为 $70.4 \pm 2.5\text{Ma}$, 为燕山期晚期。

5 金、银矿床成因差异分析

对长坑矿区金、银矿床成因,前人多认为金、银矿床

① 张生. 广东长坑超大型金银矿床地球化学与成矿机制. 博士论文(中国科学院广州地球化学研究所). 1996.

② 符力奋, 梁广星, 黄灵辉. 河台金矿区变质作用与金的成矿作用专题研究报告. 1988.

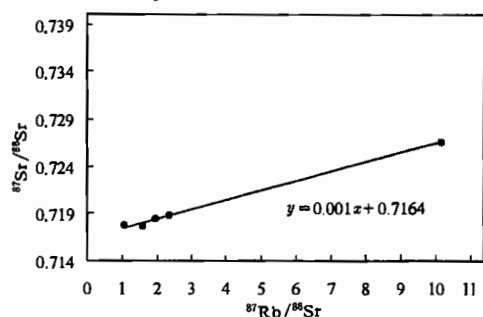


图4 银矿石英包裹体 Rb-Sr 等时线年龄

Fig. 4 Rb-Sr isochron age of fluid inclusion in the quartz of the silver deposit

因此,据长坑矿区金、银矿化地质地球化学特征、成矿时代的差异及金、银溶解迁移物理化学环境的不同,可以认为金、银矿化是不同成矿作用的产物。

硅质岩的地质特征及在岩石化学、微量元素、稀土元素方面与热水沉积硅质岩相似性^[7]表明金硅质岩很可能是热水沉积形成的。金主要以浸染状产于硅质岩中,矿体成层状、似层状,与硅质岩产状一致;矿体硫同位素组成变化大, $\delta^{34}\text{S}$ 在 $-36\text{‰} \sim 4\text{‰}$ 之间^[2],具热水沉积硫的一般特征^[11],铅同位素组成和下伏寒武系—石炭系及硅质岩的相似;在金矿化硅质岩中常见富硫化物硅质岩胶结早期形成的块状及层纹状硅质岩角砾。这表明金矿化主要是热水沉积晚期流体经多次喷

溢分异富集充填的产物。金矿及赋金硅质岩主要是早石炭世晚期海底热水沉积形成的。

银矿床主要为脉状,成矿时代为燕山期,成矿溶液主要为大气降水及建造水,铅同位素组成特征和硅质岩及下伏寒武系—石炭系的明显不同。其铅同位素组成相对富集 ^{207}Pb ,位于粤西地区元古宙地层及其中金银矿床铅同位素组成变化范围之内^[12~14]^①,粤西地区元古宙地层中银含量较高,达 349×10^{-9} (488 个样)^[14],为银矿形成提供了物质基础。据此推断银矿成矿物质主要来自深部老地层,可能是大气降水渗入深处元古宙地层中,受次火山及岩浆活动加热,发生面型水—岩交换反应,溶解矿源层中的成矿物质,形成 Ag 的氯络合物,在深部形成了动态循环银矿液储层。当燕山期晚期构造活动使与形成金矿有关的北东向广州—恩平断裂切到银矿液储层时,成矿流体沿着断裂通道迁出,至次级构造:灰岩与硅质岩界面裂隙带或灰岩内裂隙带时,由于岩性变化或其它原因(主要是温度、压力降低、pH 值变化或与其流体混合等)使银沉淀析出,形成小脉状银矿化。因此,银矿床主要是后期改造作用形成的。由于两次成矿作用在同一地区发生,因而形成了世界上少有的金、银分别构成大型及具超大型远景规模的矿床组合,由于属不同成矿作用的产物,因而金、银矿床一系列地质地球化学特征也不同。

野外工作期间,广东地质矿产局 757 地质队给予了大力帮助,在本文完成过程中张生博士提出了宝贵的修改意见,笔者向他们表示诚挚的感谢。

参 考 文 献

- 1 杜均恩,马超槐,张国恒. 广东长坑金、银矿成矿特征. 广东地质,1993,8(3):1~8.
- 2 杜均恩,马超槐,魏琳. 广东长坑金、银矿床地球化学特征. 广东地质,1996,11(1):49~59.
- 3 杜均恩,马超槐. 长坑微细粒型金矿与银矿的地质特征. 见:刘东升主编. 中国卡林型金矿. 南京大学出版社,1994. 343~355 页.
- 4 Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonic—the model. Tectonophysics, 1981, 75: 135~163.
- 5 张理刚. 成岩成矿理论与找矿. 北京工业大学出版社, 1989. 121~124 页.
- 6 郭新生,杜均恩. 广东长坑金银矿床流体包裹体及同位素地球化学研究. 矿产与地质,1996,13 (3):187~193.

① 符力奋,梁广星,黄灵辉. 河台金矿区变质作用与金的成矿作用专题研究报告,1988.

- 7 夏萍,张湖,王秀璋,程景平. 粤西长坑金银矿区硅质岩的地质地球化学特征及成因探讨. 地球化学,1996,25(2):129~139.
- 8 Seward T M. The complex of gold in hydrothermal ore solutions. Geochim Cosmochim Acta, 1973, 37: 370~380.
- 9 Seward T M. Stability of chloride complexes of silver in hydrothermal solution up to 350 C. Geochim Cosmochim Acta, 1976, 40: 1329~1341.
- 10 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学(第三卷). 北京:科学出版社,1988. 345~348 页.
- 11 陈好寿,杨开渠,张伟坚. 广东新洲—河台金矿带同位素地球化学研究. 中国地质科学院院报,1988,第18号:117~134.
- 12 潘家永,张乾,张宝贵. 粤西大降坪硫铁矿床地球化学特征及成因探讨. 矿床地质,1994,13(3):231~241.
- 13 梁华英,王秀璋,程景平. 大沟谷钠长石岩型金矿特征及成矿物质来源研究. 地球化学,1997,(5):25~31.
- 14 潘家永,张乾,张宝贵,张玉学,邵树郎. 粤西金、银矿床成矿规律探讨. 矿床地质,1996,15(3):257~265.

The Geochemical and Genetical Differences of Gold and Silver Orebodies in the Changkeng Deposit, Guangdong

Liang Huaying, Xia Ping, Wang Xiuzhang, Zhang Hu, Cheng Jingping and Shan Qiang

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510640)

Abstract

Gold and silver orebodies in the Changkeng ore district mainly in siliceous rocks and limestone immediately under the unconformity between the Lower Carboniferous limestone and the Upper Triassic carbonaceous shale. Gold and silver orebodies are separated from each other. Gold mineralization, which is enriched in Hg, As and Sb occurs as disseminations in siliceous rocks; while silver mineralization, which is enriched in Cu, Pb and Zn, occurs as veins in siliceous rocks and limestone. Lead isotopic composition of gold mineralization varies in the same range as those of Cambrian to Carboniferous strata and the gold-hosted siliceous rocks. Lead isotopic composition of silver ore differs from that of the gold ore. Hydrogen, oxygen and carbon isotopic compositions of gold ore-forming fluids and silver ore-forming fluids differ from each other. The Rb—Sr isochron age of silver mineralization is 70.4 Ma. It is concluded that the gold deposit resulted from hydrothermal—sedimentary processes, while the silver deposit from late Yanshanian reworking processes.

Key words: gold deposit; silver deposit; Changkeng deposit; Guangdong

作者简介

梁华英,男,1961年12月生,1987年于中国科学院地球化学研究所硕士研究生毕业。现任中国科学院广州地球化学研究所副研究员,主要从事矿床地球化学方面的研究。通讯地址:510640,广州五山中国科学院广州地球化学研究所。

本刊编辑部启事

①本刊将在《书刊介绍》专栏中精选优秀地质类新书作扼要介绍,以促进地质专业新书的传播。欢迎著(编)者提供新书样本。也热忱欢迎作者提供《书刊评介》专栏的文稿。②本刊将在《通讯·资料》专栏中以最快的速度摘要报道重要的项目研究进展和重大发现,欢迎投稿,限1000字以下,文责自负,本刊有权删改。同时热忱欢迎作者提供《消息报道》专栏的短稿。③上述4个专栏稿件不收版面费,也不付稿费。